



EFFECTO DE LA SALINIDAD *IN VITRO* SOBRE LA GERMINACIÓN DEL FRIJOL COMÚN (*PHASEOLUS VULGARIS* L.)

Effect of *in vitro* salinity on the germination of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.)

¹Melba Cabrera Lejardi^{1*}, ²Maydelin Dorado Bermúdez¹, ²Yarelis Ortiz Núñez²,
María Julia Mendoza Estévez¹

¹Departamento de Recursos Fitogenéticos y Semillas, Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt" (INIFAT). Calle 188, No 38764 entre 397 y Linderos, Santiago de las Vegas. Boyeros. La Habana. Cuba. E-mail: fisiologiacc@inifat.co.cu, fisiologiacli@inifat.co.cu

²Yarelis Investigadora Titular del Departamento de Recursos genéticos microbianos y Productos Bioactivos. Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt" (INIFAT). La Habana. Cuba. E-mail: dpplantas@inifat.co.cu

RESUMEN: Una de las especies cuya producción puede verse afectada negativamente por la salinidad es el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) debido a su baja tolerancia a las sales contenidas en el agua y en el suelo. En los últimos 10 años, la salinidad por cloruro de sodio (NaCl) es la que ha provocado los mayores efectos negativos en la productividad de este cultivo, por lo que este trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la salinidad sobre la germinación de semillas de dos variedades de *Phaseolus vulgaris* L. Las semillas de las variedades CULL-156 y CC-25-9R, provenientes del municipio Imías, en la provincia de Guantánamo, fueron puestas a germinar en placas Petri sobre papel de filtro, a razón de 20 semillas por placa. Se utilizaron siete tratamientos con distintas concentraciones de NaCl (25, 50, 75, 100, 125, 150 y 200 mM L⁻¹) y agua destilada como control. Las condiciones de estrés salino simuladas sólo provocaron afectaciones en la germinación de las semillas a la concentración de 200 mM. La reducción más marcada de la longitud del hipocótilo y la radícula se observó a 150 mM y 200 mM. En general, las variedades CULL-156 y CC-25-9R pueden ser consideradas como prometedoras bajo condiciones de salinidad, tanto en la germinación como durante las fases tempranas del desarrollo; lo cual sería de utilidad tanto para los Programas de Mejoramiento Vegetal, como para su siembra en condiciones adversas.

Palabras clave: Estrés salino, cloruro de sodio, porcentaje de inhibición, tolerancia a la salinidad.

ABSTRACT: One of the species whose production can be negatively affected by salinity is the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.), due to its low tolerance to salts present in water and soil. Over the past ten years, salinity caused by sodium chloride (NaCl) has had the most detrimental impact on the productivity of this crop. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of salinity on the germination of seeds from two varieties of *Phaseolus vulgaris* L. Seeds from the CULL-156 and CC-25-9R varieties, originating from the municipality of Imías in the province of Guantánamo, were germinated in Petri dishes on filter paper, with 20 seeds per dish. Seven treatments were applied using different NaCl concentrations (25, 50, 75, 100, 125, 150, and 200 mM L⁻¹), with distilled water used as the control. Simulated saline stress conditions only affected seed germination at the 200 mM concentration. The most significant reduction in hypocotyl and radicle length was observed at 150 mM and 200 mM. Overall, the CULL-156 and CC-25-9R varieties can be considered promising under saline conditions, both in terms of germination and early developmental stages. This finding may be useful for Plant Breeding Programs and for cultivation under adverse environmental conditions.

Key word: Saline stress, sodium chloride, inhibition percentage, salinity tolerance.

*Correspondencia a: rhfisilogia@inifat.co.cu

Recibido: 14/07/2025

Aceptado: 23/08/2025

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

Contribución de los autores: Melba Cabrera Lejardi: **Conceptualización, curación de datos, investigación, metodología, escritura-revisión y edición.** Maydelin Dorado Bermúdez: **Investigación, metodología, escritura-revisión y edición.** Yarelis Ortiz Núñez: **Administración de proyectos, recursos, supervisión.** María Julia Mendoza Estévez: **Curación de datos, metodología**



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



INTRODUCCIÓN

El cambio climático y las actividades humanas han modificado severamente la distribución natural de las sales en la superficie de varios paisajes y ha conducido a la degradación de ecosistemas agrícolas y naturales (IPCC, 2023). La acumulación excesiva de iones en el suelo, como el calcio, magnesio, sodio, sulfato y cloruro, inhibe la germinación, el crecimiento y el desarrollo de las plantas mediante su efecto sobre la absorción del agua y los nutrientes (Uçarlıy, 2020; Velmurugan et al., 2020).

La salinidad excesiva puede incluso reducir significativamente el rendimiento de los cultivos (Kumar et al., 2021), esta se origina dependiendo de la fuente de sales, ya sea proveniente de la intemperización de rocas, de los contenidos en sales de los acuíferos o directamente del agua de mar y de los procesos que llevan a su translocación y acumulación (Hassani et al., 2021). Los procesos de salinización pueden darse en regiones de clima árido y semiárido donde la evaporación es mayor a la precipitación, lo que provoca que la solución del suelo ascienda y las sales se acumulen en la superficie. También en regiones costeras tropicales, cuando hay un manto freático cerca de la superficie rico en sales (ONEI, 2022).

A partir de sus investigaciones, Hernández et al. (2023) afirman que un 14 % de los suelos de Cuba están afectados por la salinidad, lo que representa un millón de ha. Entre estos suelos se encuentran algunos Fluvisoles con niveles moderados de sales, que no alcanzan las concentraciones extremas observadas en los Solonchaks. Estos últimos se presentan solamente en una pequeña área al sur de la provincia de Holguín y en el Valle de Guantánamo.

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), dentro de los granos, es la leguminosa más importante para la alimentación en el trópico de América Latina. La producción mundial de este cultivo alcanza los 30,4 millones de toneladas y entre los países mayores productores se encuentran la India, Myanmar, Brasil, Estados Unidos, China, Tanzania y México (FAOSTAT, 2021).

En el caso de Cuba, se cosecharon unas 73 mil hectáreas de frijoles en el 2020, con una producción total de 65 toneladas y un rendimiento agrícola promedio de 0,89 t ha⁻¹

(ONEI, 2021) que son muy inferiores a los óptimos del cultivo. En los últimos años, el cambio climático ha causado deterioro en los ecosistemas de producción de frijol. Las principales causas de las afectaciones, se relacionan con deficiencias hídricas en los suelos, incremento de plagas y la salinidad.

El frijol común es una de las especies cuya producción puede verse afectada negativamente por la salinidad, debido a que es un cultivo poco tolerante a las sales contenidas en el agua y en el suelo (Miranda et al., 2021). En los últimos 10 años, la salinidad por NaCl es la que ha producido los mayores efectos negativos en la producción de frijol, la cual es inducida por la utilización de agua de riego con niveles altos de sal.

La germinación del frijol es el proceso fisiológico de mayor afectación por los niveles altos de salinidad. Una de las formas de vencer los efectos de la salinidad por NaCl, es la selección de genotipos tolerantes (Miranda et al., 2021). Por estas razones, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la salinidad sobre la germinación de semillas de dos variedades de *Phaseolus vulgaris* L. cultivadas en la provincia de Guantánamo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal y condiciones de laboratorio

Los experimentos se realizaron en el Laboratorio de Fisiología Vegetal del Departamento de Recursos Fitogenéticos y Semillas, del Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical (INIFAT), en la localidad de Santiago de las Vegas, municipio Boyeros, La Habana, Cuba. Se utilizaron semillas de las variedades CC-25-9R (grano rojo) y CULL-156 (grano negro), las cuales se cultivaron en el municipio de Imías, en la provincia de Guantánamo, Cuba.

Desinfección de las semillas

Las semillas se lavaron inicialmente con agua destilada estéril, seguida de una desinfección con una solución de etanol 70 % (v/v) por 2 min mediante agitación manual. A continuación, se colocaron en una solución de hipoclorito de sodio al 2 % (v/v) y se agitaron de forma manual durante 5 min. Las semillas desinfectadas se enjuagaron con agua destilada estéril.

Prueba de germinación en condiciones de estrés salino

Se colocaron las semillas en placas Petri de 90 mm de diámetro sobre papel de filtro a razón de 20 semillas por placa, con tres placas por tratamiento. El experimento se llevó a cabo a una temperatura media de $21,5 \pm 0,4$ °C, una humedad relativa de $56,2 \pm 2,1\%$ y 9 h continuas de luz durante 10 días. La temperatura y la humedad se registraron diariamente con un higrotermómetro (temperatura en grados Celsius y la humedad relativa en %).

Se emplearon siete tratamientos de salinidad, generados mediante la aplicación de 20 mL de soluciones de NaCl (Tabla 1). La conductividad eléctrica se determinó con un conductímetro de mesa, marca Hanna (Precisión: $\pm 1\%$ de lectura ± 0.05 $\mu\text{s/cm}$). La humedad de las placas se mantuvo durante todo el experimento.

Evaluación de los índices fisiológicos

Se efectuaron recuentos diarios del número de semillas germinadas durante 10 días a partir de la siembra, considerando aquellas con una longitud radicular igual o superior a 2 mm. Después de diez días de exposición las plántulas fueron removidas de las placas y se midió la longitud del hipocótilo y la radícula. Se calculó el porcentaje final de germinación (G), el porcentaje de inhibición de la germinación (PIG), el índice de estrés de la longitud del hipocótilo y/o radícula (IE), el porcentaje de inhibición del crecimiento del hipocótilo (PIH) y el porcentaje de inhibición del crecimiento de la radícula (PIR).

$$G = \frac{N_g}{N_t} \cdot 100\%$$

$$PIG = \frac{N_e}{N_c} \cdot 100\%$$

$$IE = \frac{LE_{ge}}{LE_c} \cdot 100\%$$

$$PI = 100 - IE$$

Donde:

N_g = número de semillas germinadas a los diez días posteriores al inicio del experimento.

N_t = número total de semillas por placa

N_e = número de semillas germinadas en el tratamiento de estrés

N_c = número de semillas germinadas en el control

LE_e = longitud de la estructura (hipocótilo o radícula) en el tratamiento de estrés

LE_c = longitud de la estructura (hipocótilo o radícula) en el control

IE = índice de estrés

PI = porcentaje de inhibición. ($PI = 100 -$ índice de estrés)

Análisis estadístico de los datos

El experimento se llevó a cabo según un diseño completamente aleatorizado con tres réplicas. Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) bifactorial (Lerch, 1977), considerando los factores genotipo y tratamiento. El cumplimiento de las premisas del ANOVA se comprobó mediante la prueba de Bartlett (homogeneidad de varianzas) (Bartlett, 1937) y la prueba de Kolmogorov-Smirnov (normalidad) (Massey, 1951). (Los datos expresados como porcentajes se transformaron a $\arcsen\sqrt{x}$; la longitud del hipocótilo y la radícula a \sqrt{x}).

Los datos relativos a las longitudes se tomaron a partir de cuatro plántulas seleccionadas al azar de cada placa, para un total de 12 plántulas. Las comparaciones múltiples de medias se realizaron mediante la prueba de Tukey HSD ($p < 0.05$) (Lerch, 1977). Los valores del error estándar de las medias se refieren a los datos transformados. Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo con el programa Statistica, v.10.0 para Windows (StatSoft, Inc., 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de la salinidad sobre la germinación

La comparación del porcentaje final de germinación (Figura 1) reveló diferencias significativas entre genotipos, con una media de $92,7 \pm 1,9$ % para CULL-156 y $83,0 \pm 2,0$ % para CC-25-9R. La diferencia entre tratamientos de salinidad también fue significativa, aunque no la interacción entre ambos factores.

Tabla 1. Concentraciones de sales y conductividad eléctrica de las distintas soluciones.

| | | | | | | | | |
|--|--------|------|------|------|------|------|------|------|
| Concentración de NaCl (mM L^{-1}) | 0 | 25 | 50 | 75 | 100 | 125 | 150 | 200 |
| Conductividad eléctrica (dS m^{-1}) | 0,0015 | 2,66 | 5,24 | 7,85 | 10,3 | 11,0 | 13,1 | 17,4 |

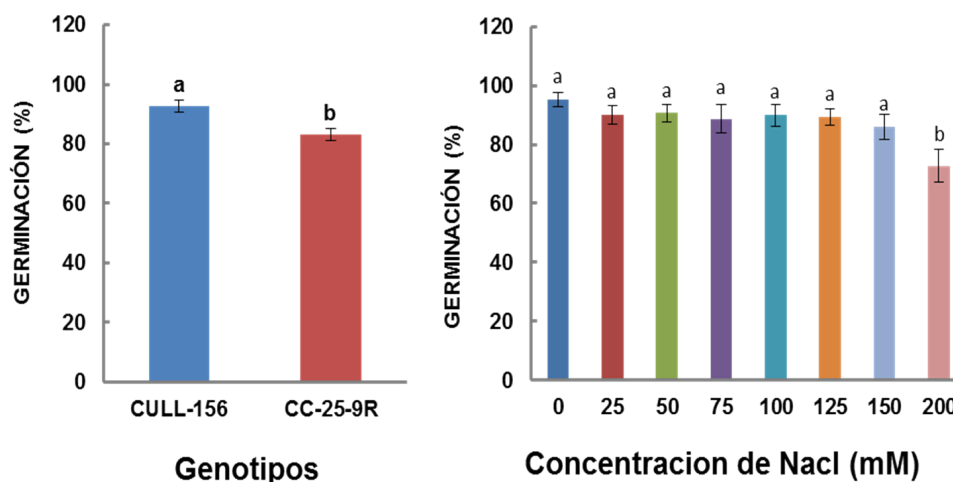


Figura 1. Efecto del genotipo y la concentración salina sobre la germinación *in vitro* del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Letras distintas indican diferencias significativas según la Prueba de Tukey HSD ($SE_{xG} = 0,002$; $SE_{xT} = 0,005$; $n=3$).

El porcentaje de germinación fue mayor en el cultivar CULL-156, respecto al CC-25-9R, con diferencia estadística entre ellos. La salinidad sólo afectó negativamente la germinación a 200 mM (Figura 1), con valores medios de germinación de $72,7 \pm 5,5$ %. En el rango de 0 mM a 150 mM los porcentajes de germinación se mantuvieron entre $95,3 \pm 2,4$ % y $86,0 \pm 4,2$ % para los distintos tratamientos. Sin embargo, en un estudio realizado por Ortega et al. (2025), con diferentes genotipos de tomate, encontraron que el porcentaje de germinación se vio afectado al incrementarse la concentración de sales a 50 mM, y a partir de ese nivel no se obtuvo respuesta positiva de los genotipos evaluados.

Según Miranda et al. (2021), a medida que aumenta la concentración de NaCl en el agua se aprecia una disminución de la germinación y del contenido de agua en las semillas de los genotipos

de frijol común. El incremento de sales en el agua durante el proceso de imbibición, afecta el proceso de osmosis, el cual permite el paso de agua a través de la membrana semipermeable de las células, desde la solución más diluida a la más concentrada.

La pérdida de agua en las semillas pudiera estar asociada a la plasmólisis celular durante la imbibición, que ocurre a medida que aumenta la concentración de sales. Este proceso es más visible en las concentraciones de 500 y 600 mM de NaCl. La función fundamental de los electrolitos en las células es de mantener el equilibrio de los fluidos, para su correcto funcionamiento.

El porcentaje de inhibición de la germinación fue estadísticamente diferente entre genotipos y tratamientos, pero no su interacción, como se muestra en la Figura 2.

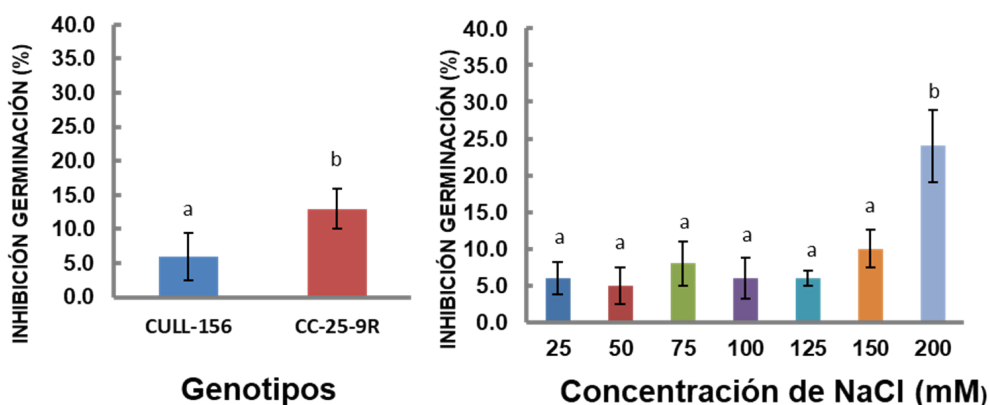


Figura 2. Influencia del genotipo y las concentraciones salinas sobre el **Porcentaje de Inhibición de la germinación (PIG)**, del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Letras diferentes indican diferencias significativas según la Prueba de Tukey HSD ($SE_{xG} = 0,008$; $SE_{xT} = 0,013$; $n=3$).

La inhibición de la germinación fue significativamente superior en el cultivar CC-25-9R, con un porcentaje del $13,0 \pm 2,9$ %, mientras que el valor calculado para CULL-156 resultó de $6,0 \pm 3,5$,%. No obstante, es importante destacar que estos porcentajes de inhibición pueden considerarse bajos, muy alejados del 50 %, lo que sugiere que en estos cultivares el proceso de germinación no se afectó notablemente con el aumento de la salinidad en las condiciones estudiadas.

Los valores del porcentaje de inhibición para el rango de concentraciones de 25 a 150 mM presentaron valores entre $6,0 \pm 2,3$ % y $10 \pm 4,9$, y solo resultaron diferentes estadísticamente con la concentración 200 mM, la que genera un estrés más severo.

El porcentaje de inhibición del crecimiento de la radícula fue estadísticamente diferente entre genotipos, tratamientos y en la interacción entre estos factores. En ambos cultivares, los mayores porcentajes de inhibición se observaron a 150 mM y 200 mM, sin diferencias significativas entre ellos (Figura 3).

Respecto a la interacción entre ambos factores se encontró que en el caso de CULL-156, las diferencias entre 50 mM, 100 mM y 125 mM no fueron significativas, a 75 mM. La inhibición fue menor con respecto al resto de los tratamientos. En el cultivar CC-25-9R la inhibición más baja tuvo lugar a 50 mM, mientras que en el rango de 75 mM a 125 mM las diferencias no fueron significativas.

El porcentaje de inhibición del hipocótilo se calculó para los tratamientos de 125 mM, 150 mM y 200 mM porque es donde aparece de manera consistente la inhibición (Figura 4). En este caso sólo se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre genotipos y tratamientos. Los resultados indican que la inhibición fue mayor para la variedad CULL-156, en tanto el efecto negativo de la salinidad se incrementó con diferencias estadísticas desde 125 mM hasta 200 mM.

La salinidad excesiva ejerce tres efectos tóxicos fundamentales sobre las plantas. Primero, iones específicos como el sodio y el cloruro inhiben la síntesis de proteínas y provocan daños sobre los organelos celulares, la estructura de las enzimas y de los sistemas fotosintético y respiratorio.

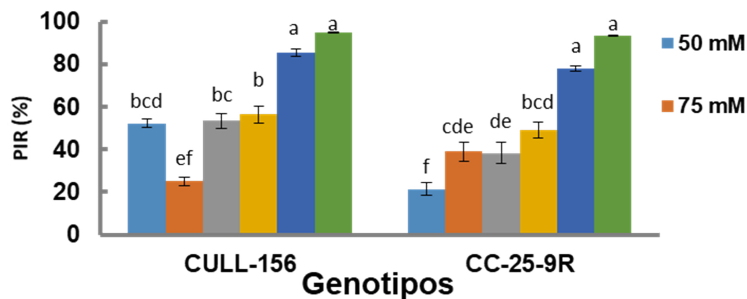


Figura 3. Porcentaje de inhibición de la longitud de la radícula (PIR) correspondiente a los genotipos de frijol cv. CULL-156 y CC-25-9R en los diferentes tratamientos salinos. Letras diferentes indican diferencias significativas según la Prueba de Tukey HSD ($SE_{xG} = 0,008$; $SE_{xT} = 0,013$; $n=3$)

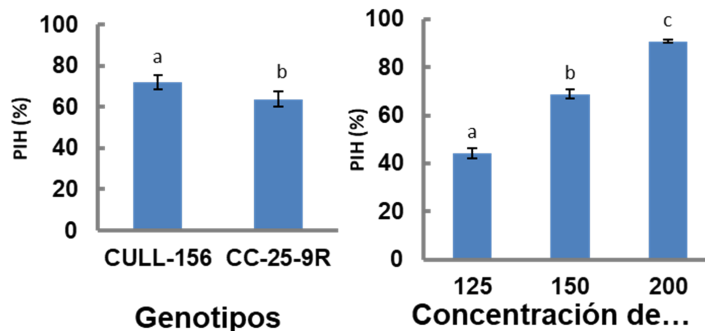


Figura 4. Porcentaje de inhibición del crecimiento del hipocótilo de genotipos de *Phaseolus vulgaris* cv. CULL-156 y CC-25-9R en los diferentes tratamientos salinos. Letras diferentes indican diferencias significativas según la Prueba de Tukey HSD ($SE_{xG} = 0,002$; $SE_{xT} = 0,0005$; $n=12$)

En segundo lugar, el exceso de sales impide la absorción de nutrientes y su transporte hacia las estructuras aéreas, como las hojas y el tallo, lo que se traduce en un déficit nutricional para las plantas. Por último, reduce el potencial osmótico de las células, con lo cual reduce la absorción de agua por las raíces y genera un estado de sequía fisiológica en la planta. En estas condiciones, la planta debe reducir su potencial osmótico interno para evitar que el agua del suelo penetre en las raíces Kumar *et al.*, (2021).

Según (Al-huraby *et al.*, 2022), cuando se han irrigado las semillas de cultivares de *Phaseolus vulgaris* con soluciones salinas a diferentes concentraciones (0, 50, 100, 150 y 200 mM), se encontró que se reduce el porcentaje de germinación a medida que se incrementa la concentración de sales. EL riego con las soluciones salinas estuvo asociado a un incremento del contenido de carbohidratos solubles, proteínas y aminoácidos en el tallo de las plántulas en comparación con el control.

Otro estudio que involucró cinco genotipos de *Phaseolus vulgaris* evidenció un efecto negativo de la concentración de sales (50 mM y 100 mM) de NaCl, sobre la producción de biomasa y la tasa de crecimiento relativa de las plántulas; así como sobre parámetros morfológicos como la altura de las plántulas, el número de hojas, la longitud de las raíces y la relación tallo/raíz. La fotosíntesis, la transpiración y la conductancia estomática también se afectaron severamente en todos los cultivares (Mazón-Suasteguí, 2022).

CONCLUSIONES

Las variedades CULL-156 y CC-25-9R no presentaron detrimentos en la germinación hasta la concentración de 200 mM de NaCl y la reducción más marcada de la longitud del hipocótilo y la radícula se manifestó entre los 150 y 200 mM, por lo que estas variedades pueden ser consideradas prometedoras en condiciones de salinidad, tanto en la germinación como en las fases tempranas del desarrollo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Al-Huraby, A. I., Sameera, O. y Bafeel, S. O. (2022). The effect of salinity stress on the *Phaseolus vulgaris* L. plant. *African Journal of Biological Sciences*, 4(1), 94-107. <https://doi.org/10.33472/AFJBS.4.1.2022.94-107>

Bartlett, M. S. (1937). Properties of sufficiency and statistical tests. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 160(901), 268-282. <https://doi.org/10.1098/rspa.1937.0109>

FAOSTAT. (2021). La producción mundial de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) [Base de datos]. Roma, Italia: FAO. Recuperado de <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>

Hassani, A., Azapagic, A. y Shokri, N. (2021). Global prediction of primary soil salinization under changing climate in the 21st century. *Nature Communications*, 12(1), Article 6663. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26907-3>

Hernández, J. A., López, P. D. y Morales, D. M. (2023). Métodos de análisis para calcular el contenido de sales de los suelos de Cuba. *Agrotecnia de Cuba*, 47(1), 93-97. ISSN: 0538-3114

IPCC. (2023). Summary for policymakers. En H. Lee y J. Romero (Eds.), *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1-34). IPCC. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>

Lerch, G. (1977). *La experimentación en las ciencias biológicas y agrícolas*. La Habana, Cuba: Editorial Científico-Técnica.

Kumar, A., Singh, S. N., Tripathi, D. K., Rawat, D. K. y Maurya, N. (2021). To study the effect of growth and metabolic parameters of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.) as influenced by sulphur and iron application. *Indian Journal of Pure and Applied Biosciences*, 9(1), 336-343.

Massey, F. J. Jr. (1951). The Kolmogorov-Smirnov test for goodness of fit. *Journal of the American Statistical Association*, 46(253), 68-78. <https://doi.org/10.2307/2280095>

Mazón-Suasteguí, J. M. (2022). Índice de tolerancia al estrés salino y análisis de crecimiento de dos variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L. y *Vigna unguiculata* L., Walp.), cultivadas en un medio salino (NaCl) y tratadas con medicamentos homeopáticos. *Terra Latinoamericana*, 40. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1083>

Miranda, A., Martínez, M. E. y Villalobos, A. (2021). Efecto del NaCl en la germinación de cultivares de frijol. *Universidad & Ciencia*, 10(2), 39-53. <http://revistas.unica.cu/uciencia40>

Oficina Nacional de Estadística e Información (ONEI). (2021). Agricultura, ganadería y pesca. En Anuario Estadístico de Cuba (Edición 2022). La Habana, Cuba: ONEI. Recuperado de <http://www.onei.cu>

Oficina Nacional de Estadística e Información (ONEI). (2022). Panorama ambiental Cuba 2021. Dirección de Estadísticas Básicas.

Ortega, G. M., Ríos, R. Y., Ortiz, N. Y., Fernández, G. L. y Gil, V. J. F. (2025). Comportamiento de cultivares de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cubanos frente a diferentes condiciones de salinidad. *Agrisost*, 31, 1-6. ISSN-e: 1025-0247

STATSOFT, Inc. (2011). Statistica. System reference. StatSoft, Inc., Tulsa, Oklahoma, USA, 1098 p.

Uçarli, C. (2021). Effects of salinity on seed germination and early seedling stage. *IntechOpen*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.93647>

Velmurugan, A., Swarnam, P., Subramani, T., Meena, B. y Kaledhonkar, M. J. (2020). Water demand and salinity. En: *Desalination: Challenges and Opportunities*. *IntechOpen*. ISBN: 978-1-78984-738-3 <https://doi.org/10.5772/intechopen.88095>.